

## Verfahren zur Kompensation der Drehunförmigkeit bei der Drehzahlerfassung

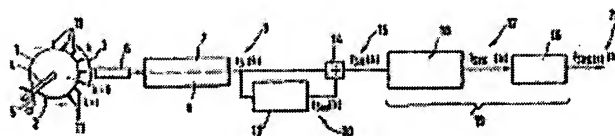
**Patent number:** DE10017107  
**Publication date:** 2001-10-18  
**Inventor:** FEHRMANN RUEDIGER (DE); PALMER JOACHIM (DE); SAMUELSEN DIRK (DE)  
**Applicant:** BOSCH GMBH ROBERT (DE)  
**Classification:**  
- **International:** G01P3/481; G01B7/30; F02D41/00  
- **European:** F02D41/34B2, G01P3/489, G01P21/02, F02D41/34B4  
**Application number:** DE20001017107 20000406  
**Priority number(s):** DE20001017107 20000406

Also published as:

WO0177692 (A3)  
WO0177692 (A2)

### Abstract of DE10017107

The invention relates to a method for detecting the revolutions per minute and/or the angle on rotating components of a combustion engine that comprises a transmitting wheel (1).  $k$  teeth (11, 12) are received on the circumferential surface (2) of said wheel. Said teeth are scanned by means of one or more signal transmitters (6) which detect the time difference  $t_s(k)$  of two successive teeth (11). The measured segment times  $t_s(k)$  (9) are adjusted by the errors of the transmitting wheel (1) within an adjusting routine (19) by means of a reference model (27) or by means of an order filter (37) having at least one of the main orders of the Fourier transformations (38, 43) that are allocated to the combustion engine, whereby the respective operating point ( $n$ ,  $p_1$ ,  $mE$ ) of the combustion engine is defined on said model.



Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

BEST AVAILABLE COPY

THIS PAGE BLANK (USPTO)



19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

12 Offenlegungsschrift  
10 DE 100 17 107 A 1

51 Int. Cl. 7:  
G 01 P 3/481  
G 01 B 7/30  
F 02 D 41/00

21 Aktenzeichen: 100 17 107.9  
22 Anmeldetag: 6. 4. 2000  
43 Offenlegungstag: 18. 10. 2001

DE 100 17 107 A 1

71 Anmelder:  
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

74 Vertreter:  
Patent- und Rechtsanwälte Bardehle, Pagenberg,  
Dost, Altenburg, Geissler, Isenbruck, 68165  
Mannheim

72 Erfinder:  
Palmer, Joachim, Dr., 70825 Korntal-Münchingen,  
DE; Samuelsen, Dirk, Dr., 71636 Ludwigsburg, DE;  
Fehrmann, Ruediger, Dr., 71229 Leonberg, DE

56 Entgegenhaltungen:

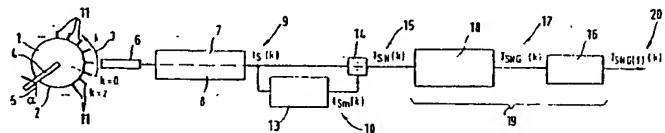
DE	197 33 958 A1
DE	195 40 674 A1
DE	35 16 802 A1
US	52 39 473

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Verfahren zur Kompensation der Drehunförmigkeit bei der Drehzahlerfassung

57 Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Drehzahl und/oder Winkelerfassung an rotierenden Bauteilen einer Verbrennungskraftmaschine mit einem Geberrad (1), an dessen Umfangsfläche (2) k Zähne (11, 12) aufgenommen sind, die voneinem oder mehreren Signalgebern (6) abgetastet werden, die die Zeitdifferenz  $t_s(k)$  zweier aufeinanderfolgender Zähne (11) ermitteln. Die gemessenen Segmentzeiten  $t_{s(k)}$  (9) werden innerhalb einer Korrekturroutine (19) entweder anhand eines Referenzmodells (27), aus dem der jeweilige Betriebspunkt ( $n$ ,  $p$ ,  $m_E$ ) der Verbrennungskraftmaschine definiert wird, oder anhand eines Ordnungsfilters (37) mit mindestens einer der Hauptordnungen der Verbrennungskraftmaschine zugeordneten Fourier-Transformationen (38, 43) um die Fehler des Geberrades (1) korrigiert.



DE 100 17 107 A 1

- 5 [0001] Bei der Drehzahlerfassung an Verbrennungskraftmaschinen werden Geberräder eingesetzt, deren mit einer Außenverzahnung versehene Umfangsflächen von Drehzahlgebern abgetastet werden. Je genauer die Erfassung von Drehwinkel einer Kurbelwelle einer Verbrennungskraftmaschine sowie der Drehzahl derselben am Geberrad erfaßt werden kann, desto vorteilhafter ist das Regelverhalten eines Regelkreises zur Steuerung der Verbrennungsmaschine.

10

## Stand der Technik

- [0002] Die Winkelfassung des Kurbelwinkels  $\alpha$  der Kurbelwelle einer Verbrennungskraftmaschine erfolgt über ein Geberrad, welches an seinem Umfang gleichmäßig verteilt  $z$  Zähne aufweist. Der Winkelabstand zwischen den Zähnen des Geberrades beträgt  $\alpha_{sm}$ . Mittels eines Drehzahlgebers, der als ein Sensorelement ausgebildet sein kann, wird der Zeitpunkt detektiert, zu dem ein Zahn den Drehzahlgeber passiert. Mittels einer dem Drehzahlgeber nachgeschalteten Erfassungseinrichtung wird die Zeitdifferenz zweier aufeinander folgender Zähne detektiert, die Segmentzeit  $t_s$ . Aus dem Kehrwert der gemessenen Segmentzeit  $t_s$  wird die Drehzahl gemäß der nachfolgenden Beziehung

$$20 \quad \bar{n}(k) = \frac{\alpha_{sm}}{2\pi} \frac{1}{t_s(k)}$$

ermittelt. Der Winkel zwischen zwei Zähnen des Geberrades läßt sich auf der Basis der zuletzt gemessenen Segmentzeit  $t_s(k-1)$  gemäß nachfolgender Beziehung interpolieren:

$$25 \quad \alpha(t) = \alpha_{sm} \frac{t}{t_s(k-1)}$$

- [0003] Die Drehzahl- und Winkelwerte  $\bar{n}(k)$  und  $\alpha(t)$  können durch Toleranzeinflüsse verfälscht werden. Zu solchen Toleranzeinflüssen sind Teilungsfehler am Geberrad, Anbaufehler von Drehzahlgeber und Geberrad an der Stirnseite der Kurbelwelle sowie Sensortoleranzen zu zählen. Dadurch weichen die einzelnen Segmentwinkel  $\alpha_s(k)$  vom Idealwert  $\alpha_{sm}$  nicht unerheblich ab.

- [0004] Um die Folgen fertigungs- und montagetechnisch bedingter auftretender Toleranzen abzumildern, werden bei heutigen Anwendungen der Drehzahlerfassung nur einzelne, ausgewählte Zähne zur Signalermittlung und -auswertung herangezogen. Dadurch läßt sich zwar eine Verringerung des relativen Winkelfehlers

$$35 \quad \frac{\Delta\alpha_s}{\alpha_{sm}}$$

- erzielen, jedoch wird dieser Vorteil durch eine Phasenverschiebung des Signales  $t_s(k)$  erkauft, was nicht unerhebliche Nachteile in regelungstechnischer Hinsicht nach sich zieht.

- [0005] Soll eine korrekte Winkelerfassung erfolgen, verbietet sich die Auswertung von Winkelsignalen, die an beliebig herausgegriffenen Zähnen des Geberrades ermittelt werden. Die Segmentzeiten  $t_s(k)$  können auch bei einem idealen Geberrad an der Kurbelwelle aufgrund der Drehunförmigkeit des Verbrennungsmotors stark schwanken. Werden zu wenig Zähne des Geberrades zur Drehzahlermittlung ausgewertet werden, liefert die Gleichung

$$45 \quad \alpha(t) = \alpha_{sm} \frac{t}{t_s(k-1)}$$

- [0006] Ergebnisse, die grob von den tatsächlichen Gegebenheiten abweichen können.

- 50 [0007] Aus DE-OS 44 06 606 ist eine Adaptionseinrichtung für ein Geberrad an einem Verbrennungsmotor bekannt geworden. Ein Geberrad wird dazu verwendet, Drehzahländerungen eines Verbrennungsmotors mit hoher Genauigkeit zu erfassen, um aus diesen einen Laufunruhewert zu berechnen. Ein solches Geberrad weist z. B. drei Segmente auf, die idealer Weise gleich lang sind, jedoch in der Realität meistens leicht voneinander abweichende Längen aufweisen. Um dadurch bedingte Meßfehler bei der Erfassung von Drehzahländerungen zu vermeiden, ist es bekannt, die tatsächlichen Längen durch ein Adaptionsverfahren zu ermitteln. Die erfindungsgemäße Vorrichtung ist so aufgebaut, daß sie für jedes Segment über mehrere Adaptionsfilter verfügt, um verschiedene Adaptionswerte für verschiedene Drehzahlbereiche zu erfassen. Es hat sich herausgestellt, daß in unterschiedlichen Drehzahlbereichen unterschiedliche Längen gemessen werden, was ein Fehler ist, der kompensiert werden muß, da die Länge eines Segmentes tatsächlich dauernd konstant ist.

60

## Darstellung der Erfindung

- [0008] Mittels der erfindungsgemäß vorgeschlagenen Verfahren lassen sich aus der Zeitdifferenz zweier aufeinanderfolgender Zähne genaue Winkel und Drehzahlwerte ermitteln, die nicht von Geberradtoleranzen beeinflusst werden. Die errechnete Drehzahl kann, um eine verbesserte Auslegung eines Reglers zu ermöglichen, nur eine minimale Phasenverschiebung gegenüber der analogen Drehzahl aufweisen.

- 65 [0009] Mittels der erfindungsgemäß vorgeschlagenen Verfahren zur genauen Erfassung von Winkel und Drehzahl werden gemessene Segmentzeiten  $t_s(k)$  um gelemte Geberradfehler korrigiert, so daß sich die überlagernden Einflüsse von Geberradfehlern und Drehunförmigkeit des Verbrennungsmotors voneinander trennen lassen.

[0010] Mit einem der erfindungsgemäß vorgeschlagenen Verfahren wird die Drehunförmigkeit des Verbrennungsmotors aus dem Betriebspunkt des Motors, der durch die Drehzahl  $n$ , den Ladedruck  $p_1$ , sowie die Einspritzmenge  $m_E$  definiert ist, rekonstruiert. Dazu kann das Drehmoment durch dessen Gleichanteil  $M_0$  sowie  $n$  harmonische der ersten Hauptordnung des Verbrennungsmotors beschrieben werden.

[0011] Anstelle der Rekonstruktion der Drehunförmigkeit der Verbrennungskraftmaschine aus einem speziellen, wohldefinierten Betriebspunkt, kann die Drehunförmigkeit der Verbrennungskraftmaschine anhand der Frequenzanteile der Hauptordnungen des Motors bestimmt werden. Für diese Frequenzanteile lassen sich im Wege diskreter Fourier-Transformationen, über jeweils eine Kurbelwellenumdrehung der Betrag  $\varphi_j$  und Phase  $\phi_j$  der zugehörigen Segmentzeitschwankung bestimmen.

#### Zeichnung

[0012] Anhand der Zeichnung wird die Erfindung nachstehend näher erläutert.

[0013] Es zeigt:

[0014] Fig. 1a die Winkelerfassung eines Geberrades durch einen Drehzahlgeber samt Auswertungsschaltung,

[0015] Fig. 1b eine Drehzahlerfassung an ausgewählten Zähnen am Umfang eines Geberrades, wobei für die Signalauswertung eine Mittelwertbildung vorgesehen ist,

[0016] Fig. 1c eine schematische Darstellung der erfindungsgemäß vorgeschlagenen Fehlerermittlungsroutine mit einer Trennstufe,

[0017] Fig. 2 die Gegenüberstellung eines Winkelsystemes von fehlerbehafteten Geberrad gegenüber dem wahren Winkel der Verbrennungskraftmaschine,

[0018] Fig. 3 die Ausfilterung der Drehunförmigkeit des Verbrennungsmotors mittels eines Referenzmodelles und

[0019] Fig. 4 das Ausfiltern der Drehunförmigkeit des Verbrennungsmotors mit  $n$ -Ordnungen entsprechenden Fourier-Transformationsstufen.

#### Ausführungsvarianten

[0020] Fig. 1a gibt die Bestimmung von Segmentzeiten mit einem Geberrad gemäß einer Lösung aus dem Stand der Technik wieder.

[0021] Ein Geberrad 1, dessen Umfangsfläche 2 mit  $k$  Zähnen, beispielsweise 60 Zähnen versehen ist, ist an einer Geberradwelle 4 aufgenommen und rotiert im Drehsinn 3. Der Drehwinkel 5, der die Drehrichtung des Geberrades 1 identifiziert, ist mit  $\alpha$  bezeichnet. Die einzelnen Zähne 11 sind mit aufeinander folgenden Abständen am Umfang 2 des Geberrades 1 aufgenommen. Die Zahnflanken der einzelnen Zähne 11 werden von einem Signalgeber 6 abgetastet, dem eine Signalauswertung 7 mit integrierter Zeiterfassung 8 nachgeordnet ist. Am Ausgang der Signalauswertung 7 steht als Ausgangssignal die ermittelte Segmentzeit  $t_s(k)$ , mit Bezugszeichen 9 bezeichnet, an.

[0022] Der Abstand der einzelnen am Umfang 2 des Geberrades 1 aufgenommenen Zähne 11 beträgt  $\alpha_{SM}$ . Die Drehzahl wird aus dem Kehrwert der gemessenen Segmentzeit  $t_s(k)$  bestimmt:

$$\bar{n}(k) = \frac{\alpha_{SM}}{2\pi} \cdot \frac{1}{t_s(k)}$$

[0023] Der Drehwinkel 5 wird zwischen zwei Zähnen 11 unter Verwendung der aktuellen Zeit  $t$  seit Abtastung des letzten Zahns sowie der zuvor gemessenen Segmentzeit  $t_s(k-1)$  interpoliert.

$$\alpha(t) = \alpha_{SM} \frac{t}{t_s(k-1)}$$

[0024] In Fig. 1b ist eine Drehzahlerfassung an ausgewählten Zähnen 12 am Umfang eines Geberrades dargestellt, wobei der Signalauswertung eine Signalmittelwertbildung implementiert ist.

[0025] Von der Gesamtheit der am Umfang 2 des Geberrades 1 aufgenommenen Zähne 11 werden lediglich ausgewählte Zähne 12 zur Signalauswertung 7, 8 herangezogen. Die Zähne 12 werden häufig so ausgewählt, daß die Drehunförmigkeit des Verbrennungsmotors bei der Zeitmessung 8 nicht in Erscheinung tritt. Analog zur in Fig. 1a wiedergegebener Darstellung werden die ausgewählten Zähne 12 durch einen Signalgeber 6 abgetastet, dessen Signal an eine Signalauswertung 7 samt integrierter Zeitmessung 8 übertragen wird. Deren Ausgangssignal  $t_s(k)$ , der Segmentzeit entsprechend und mit Bezugszeichen 9 identifiziert, wird sowohl einer Korrekturereinheit 14 zugeleitet als auch in einer Mittelwertbildungsstufe 13 in eine normierte Segmentzeit umgewandelt  $t_{SM}(k)$ , der mittleren Segmentzeit entsprechend. Sowohl das Ausgangssignal der Signalauswertung 7  $t_s(k)$  als auch die normierte Segmentzeit  $t_{SM}(k)$  werden der Korrekturereinheit 14 zugeleitet, welche ihrerseits eine normierte Segmentzeit  $T_{SN}(k)$  ermittelt, mit Bezugszeichen 15 bezeichnet. Dieses Ausgangssignal der Korrekturstufe 14 wird an eine Lernstufe übertragen, in welcher aus dem Signal  $T_{SN}(k)$  derjenige Signalteil gelernt wird, der von den Geberradfehlern herrührt. Das die Lernstufe 16 verlassende Signal  $T_{SNF}(k)$ , mit Bezugszeichen 20 bezeichnet, stellt die Segmentzeitabweichungen aufgrund von Geberradfehlern dar.

[0026] In der Darstellung gemäß Fig. 1c ist eine schematische Darstellung der erfindungsgemäß vorgeschlagenen Fehlerroutine wiedergegeben.

[0027] Das Geberrad 1, auf dessen Umfangsfläche 2 sich eine Vielzahl von Zähnen 11 befindet, hier mit dem Laufindex von  $k=0$  von  $k=z$  bezeichnet, wird über ein Signalgeber 6 abgetastet. Das Geberrad 1 befindet sich auf einer Geberradwelle 4 aufgenommen, welche im Drehsinn 5 rotiert. Die Signale des Signalgebers 6 werden an eine Signalauswertung 7 mit integrierter Zeitmessung übertragen, deren Ausgangssignal die Segmentzeit  $t_s(k)$ , mit Bezugszeichen 9 bezeichnet, darstellt. Analog zur in Fig. 1b wiedergegebenen Darstellung wird die Segmentzeit  $t_s(k)$  sowohl einer Mittelwertbil-

dungsstufe 13 als auch eine Korrektureinheit zugeleitet. Aus der Segmentzeit  $t_s(k)$  wird durch die Mittelung über eine Kurbelwellenumdrehung die mittlere Segmentzeit  $t_{SM}(k)$  berechnet, mit Bezugszeichen 20 bezeichnet. Dieses Signal wird ebenfalls der Korrekturereinheit 14 zugeführt. Der Korrekturereinheit wird das Signal der normierten Segmentzeit  $T_{SN}(k)$  aus der Division von der Segmentzeit  $t_s(k)$  durch  $t_{SM}(k)$  ermittelt. Die normierte Segmentzeit 15 wird innerhalb einer Fehleroutine 19 korrigiert. Die Fehleroutine 19 enthält eine Trennstufe 18, in welcher die Trennung der Geberradfehler von den Motoreffekten wie beispielsweise der Drehunförmigkeit erfolgt. Das aus der Trennstufe 18 hervorgehende Signal  $T_{SNG}(k)$  stellt die Wechselanteile des Signales am Filterausgang dar und ist im stationären Betrieb der Verbrennungskraftmaschine ausschließlich auf Geberradfehler zurückzuführen. Sie werden mit einem der Trennstufe 18 nachgeschalteten Adaptionsverfahren innerhalb eines Lernfilters 16 ausgewertet. Am Ausgang der Lernstufe 16 stehen die gelernten Segmentzeitabweichungen aufgrund von Geberradfehlern in Form des Signales  $T_{SNGf}(k)$  zur Verfügung, mit Bezugszeichen 20 identifiziert.

[0028] Liegt das Signal 20, d. h. die Segmentzeitabweichungen aufgrund von Geberradfehlern  $T_{SNGf}(k)$  vor, können anstelle der verfälschten Drehzahl  $\tilde{n}(k)$  die von Geberradfehlern bereinigten Drehzahlsignale  $n_1(k)$  und  $n_2(k)$  erzeugt werden:

$$n_1(k) = \frac{\alpha_{SM}}{2\pi} \cdot \frac{1}{t_s(k) \cdot [1 - T_{SNGf}(k)]}$$

und

$$n_2(k) = \frac{\alpha_{SM}}{2\pi} \cdot \frac{1}{t_{SM}(k) \cdot T_{SNG}(k) \cdot [1 - T_{SNGf}(k)]}$$

[0029] Das Signal  $n_1(k)$  enthält im Gegensatz zum Drehzahlsignal  $n_2(k)$  die Drehunförmigkeit der Verbrennungskraftmaschine.

[0030] Das Ausgangssignal 20 kann außerdem dazu benutzt werden, um eine genauere Winkelinterpolation zwischen zwei Zähnen 11 des Geberrades 1 zu erzielen. Um eine Systemaktion (zum Beispiel das Schalten eines Magnetventiles in der Kraftstoffversorgung) beim Winkel  $\alpha_{Soll}$  zu erreichen, muß der wahre Winkel  $\alpha_{Soll}$  in das fehlerbehaftete Winkelsystem  $\alpha^*$  des Geberrades 1 abgebildet werden. Dies erfolgt gemäß der nachfolgend wiedergegebenen Beziehung:

$$\alpha^*_{Soll} = (\alpha_{Soll} - \Delta\alpha) \cdot [1 - T_{SNGf}(k-1)]$$

$\Delta\alpha$  ist die Abweichung des Zahnes 11 mit der Adresse  $k-1$  gegenüber dem wahren Winkel.

[0031] In Fig. 2 ist die Gegenüberstellung eines Winkelsystems an einem fehlerbehafteten Geberrad 1 dem wahren Winkel der Verbrennungskraftmaschine gegenübergestellt. Mit Bezugszeichen 21 ist das Winkelsystem des fehlerhaften Geberrades 1 bezeichnet, während Bezugszeichen 24 den tatsächlichen Winkel der Verbrennungskraftmaschine bezeichnet. Mit 22 ist ein beliebiger Zahn 11 des Geberrades 1 identifiziert, während mit Bezugszeichen 23 der Folgezahn am Geberrad 1 gekennzeichnet sein soll. Die Abweichung  $\delta\alpha$  eines Zahnes mit der Adresse " $k-1$ " gegenüber dem wahren Winkel 24 der Verbrennungskraftmaschine läßt sich aus der nachfolgenden Beziehung bestimmen:

$$\Delta\alpha = \sum_{j=0}^{k-1} T_{SNGf}(j) \cdot \alpha_{SM}$$

[0032] Mit  $\alpha_{SM}$  Winkelabstand der Zähne 11 am Umfang 2 des Geberrades 2.

[0033] Der Winkelversatz ist in der Fig. 2 mit Bezugszeichen 25 bezeichnet, während der Kurbelwellenwinkel mit  $\alpha$  bezeichnet ist.

[0034] In den Fig. 3 und 4 sind zwei erfindungsgemäße Verfahren zur Ausfilterung der Drehunförmigkeit des Verbrennungsmotors mittels eines Referenzmodelles bzw. mittels einer Fourier-Transformation wiedergegeben.

[0035] Diese Ausfilterungsverfahren zur Drehunförmigkeit der Verbrennungskraftmaschine sind innerhalb der Fehleroutine 19 gemäß Fig. 1c in der Trennstufe 18 implementiert. Die Trennstufe 18 enthält entweder das Referenzmodul 27 gemäß Fig. 3 oder einen Ordnungsfiler 37 gemäß der Fig. 4, wie nachfolgend dargestellt werden wird.

[0036] Mittels des in Fig. 3 wiedergegebenen Referenzmodells 27 wird die Drehunförmigkeit des Verbrennungsmotors aus dem Betriebspunkt des Motors, der durch die Drehzahl  $n$ , den Ladedruck  $p_1$  sowie die Einspritzmenge  $m_E$  definiert wird, abgebildet. Das Drehmoment einer Verbrennungskraftmaschine kann durch seinen Gleichanteil  $M_0$  sowie  $n$  Harmonische der ersten Hauptordnung der Verbrennungskraftmaschine beschrieben werden:

$$M(\alpha) = M_0 + \sum_{j=1}^n M_{j,0} \cdot \cos(m \cdot j \cdot \alpha - \varphi_{j,0}) + \sum_{j=1}^n M_{j,n} \cdot \frac{n^2}{n_{ref}^2} \cdot \cos(m \cdot j \cdot \alpha - \varphi_{j,n}) + \sum_{j=1}^n M_{j,pl} \cdot \frac{p_1}{p_{1,ref}} \cdot \cos(m \cdot j \cdot \alpha - \varphi_{j,pl}) + \sum_{j=1}^n M_{j,me} \cdot \frac{me}{me_{ref}} \cdot \cos(m \cdot j \cdot \alpha - \varphi_{j,me})$$

m stellt die Ordnungszahl der ersten Hauptordnung und  $\alpha$  den Kurbelwinkel 26 der Verbrennungskraftmaschine dar. Für einen gegebenen Betriebspunkt können die einzelnen Wechseldrehmomente in obiger Gleichung zum resultierenden Wechseldrehmoment  $M_{J,RES}$  zusammengefaßt werden:

$$M(\alpha) = M_0 + \sum_{j=1}^n M_{J,RES} \cdot \cos(m \cdot j \cdot \alpha - \varphi_{j,RES})$$

[0037] Sei J das Massenträgheitsmoment der Verbrennungskraftmaschine, so bewirkt das Drehmoment  $M(\alpha)$  bei einem idealen Geberrad 1 mit dem Winkel  $\alpha_{SM}$  zwischen den Zähnen 11, den Segmentzeitverlauf  $t_S(\alpha)$ :

$$t_S(\alpha) = t_{SM} \cdot$$

$$\left\{ 1 - \frac{1}{J \cdot 4\pi^2 n^2} \cdot \sum_{j=1}^n \left[ M_{j,RES} \cdot \frac{1}{m^2} \cdot \sin\left(m \cdot j \cdot \left(\alpha - \frac{\alpha_{SM}}{2}\right) - \varphi_j\right) \cdot \frac{1}{\alpha_{SM}/2} \cdot \sin\left(m \cdot j \cdot \frac{\alpha_{SM}}{2}\right) \right] \right\}$$

$$T_{SND}(\alpha)$$

[0038] Demnach läßt sich der Verlauf von  $T_{SND}(\alpha)$  mit Bezugszeichen 36 bezeichnet in Abhängigkeit der Betriebsgrößen Drehzahl n, Ladedruck  $p_1$  sowie Einspritzmenge  $M_E$  in mehreren Tabellen 29 innerhalb der Motorsteuerung ablegen. Für jeden Zahn 11 mit der Adresse "k" läßt sich ein Tabelleneintrag  $T_{SNG}(k)$  ablegen. Damit läßt sich das gesuchte Signal  $T_{SNG}(k)$  wie folgt berechnen:

$$T_{SNG}(k) = \frac{t_S(k)}{t_{SM}} + T_{SND}(k)$$

[0039] In Fig. 3 ist dieser Zusammenhang dadurch repräsentiert, daß die Segmentzeit  $t_S(k)$  mit Bezugszeichen 9 sowie die mittlere Segmentzeit  $t_{SM}(k)$  einer Korrektureinheit 14 zugeleitet werden, aus der durch Division die normierte Segmentzeit  $t_{SN}(k)$  (Bezugszeichen 15) erzeugt wird. Das Signal 15 sowie das vorstehend ermittelte Signal 36 werden einer Summationsstelle zugeführt, an welcher das gesuchte Signal  $T_{SNG}(k)$  gebildet wird. Am Divisor 35 wird das Massenträgheitsmoment der Verbrennungskraftmaschine entsprechend berücksichtigt, wobei der Divisor 35 neben dem Massenträgheitsmoment den an der Summationsstelle 34 ermittelten Wert der Drehzahlverknüpfung 31, der Druckverknüpfung 32 sowie der Einspritzmengenverknüpfung 33 zugeführt wird.

[0040] Bei bestimmten Motorbauarten, insbesondere 4- und 6-Zylinder-Reihenmotoren besteht eine Variante des in Fig. 3 dargestellten Verfahrens darin, bei der Bestimmung von  $T_{SND}(\alpha)$  nur die erste Hauptordnung des Motors zu berücksichtigen ( $n = 1$ ). Dabei wird der Motorbetriebspunkt, in dem das Lernverfahren aktiviert wird, so gewählt, daß das Ausgangssignal 36  $T_{SND}(\alpha)$  den Wert Null annimmt.

[0041] Eine Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens ist in Fig. 4 dargestellt. Bei dem in Fig. 4 dargestellten Verfahren, welches gemäß Fig. 1 in der Fehlerroutine 19 implementiert werden kann, wird die Drehunförmigkeit der Verbrennungskraftmaschine mittels eines Ordnungsfilters abgetrennt. Zum Ausfiltern der Drehunförmigkeit des Verbrennungsmotors wird die Tatsache ausgenutzt, daß diese Drehunförmigkeit nur Frequenzteile auf den Hauptordnungen des Motors aufweist. Mittels diskreter Fourier-Transformation (DFT) wird für diese Frequenzen über jeweils eine Kurbelwellenumdrehung der Betrag  $c_j$  und die Phase  $\varphi_j$  der entsprechenden Segmentzeitschwankungen bestimmt. Eine normierte Segmentzeit  $T_{SN}(k)$ , mit Bezugszeichen 15 bezeichnet, läßt sich beschreiben als Summe der ermittelten Frequenzanteile  $c_j$  sowie einem Restsignal  $T_{SNG}(k)$

$$T_{SND}(k) = T_{SNG}(k) + \sum_{j=1}^n c_{j,X} \cdot \cos(m \cdot j \cdot \alpha - \varphi_{j,X})$$

[0042] Hierbei ist m die Ordnungszahl der ersten Hauptordnung und  $\alpha$  der Kurbelwinkel 26 der Verbrennungskraftma-

schine. Der Index  $x$  kennzeichnet die laufende Nummer der Kurbelwellenumdrehung, die jeweils Betrag  $c$  und Phase  $\varphi$  ermittelt wurde. Das um die Drehzahlunförmigkeit bereinigte Signal  $T_{SNG}(k)$  kann konstruiert werden, indem von der normierten Segmentzeit  $T_{SN}(k)$  die aus der vorangehenden Kurbelwellenumdrehung " $X - 1$ " bestimmten Signalanteile auf den Hauptordnungen des Motors abgezogen werden:

$$T_{SNG}(k) = T_{SN}(k) - \sum_{j=1}^n c_{j,x-1} \cdot \cos(m \cdot j \cdot \alpha - \varphi_{j,x-1})$$

[0043] In zur Fig. 3 analoger Weise wird auch bei diesem erfindungsgemäß vorgeschlagenen Verfahren an einer Korrekturereinheit 14 die Segmentzeit  $t_s(k)$  Bezugszeichen 9 durch die nomierte Segmentzeit  $t_{SM}(k)$ , Bezugszeichen 10, dividiert. Das an der Korrekturereinheit 14 anstehende Ausgangssignal 15  $T_{SN}(k)$  stellt die nomierte Segmentzeit dar. Dieses Signal wird einer Subtraktionsstufe zugeführt, wo die der obigen Gleichung entsprechenden Subtraktionsvorgänge zur Ermittlung des Signales  $T_{SNG}(k)$  erfolgen. Innerhalb des Ordnungsfilters 37 sind den Hauptordnungen der Verbrennungskraftmaschine jeweils diskrete Fourier-Transformationsstufen 38 bzw. 43 zugeordnet. Die ermittelten Werte für den Betrag 38.1 sowie für die Phase 38.2 bzw. 43.1 und 43.2 werden jeweils in Speichern 39 abgelegt, wobei sowohl der Kurbelwellenwinkel  $\alpha$  als auch die Phase  $\varphi$  in die Berechnung des Winkelanteiles 40 bzw. 44 eingehen. Die Werte der Speicher 39 und diejenigen der Winkelermittlung 40 bzw. 44 werden verknüpft und einer Additionsstufe 42 zugeleitet, deren Ausgangssignal an die Subtraktionsstufe zur Ermittlung des Signales  $T_{SNG}(k)$  eingehen.

[0044] Die Elimination der Hauptordnungen des Motors unter Benutzung der diskreten Fourier-Transformationen (DFT) bietet gegenüber anderen Filterungsverfahren den Vorteil, daß die übrigen Motorordnungen hinsichtlich Betrag  $c$  und Phase  $\varphi$  nicht verändert werden. Diese Tatsache ist wichtig, da die auf diese Ordnungen verteilten Fehler am Geberad 1 sonst nicht korrekt rekonstruiert werden könnten und nur unzureichenden Eingang in die Signalkorrektur finden würden.

#### Bezugszeichenliste

- 1 Geberrad
- 2 Umfangsfläche
- 3 Drehsinn
- 4 Geberradwelle
- 5 Drehwinkel
- 6 Signalgeber
- 7 Signalauswertung
- 8 Zeitmessungen
- 9 Segmentzeit  $t_s(k)$
- 10 mittlere Segmentzeit  $t_{SM}(k)$
- 11 Zähne
- 12 ausgewählte Zähne
- 13 Mittelwertbildung
- 14 Korrekturereinheit
- 15 nomierte Segmentzeit  $T_{SN}(k)$
- 16 Lernstufe
- 17 Lernstufen korrigiertes Signal  $T_{SNf}(k)$
- 18 Trennstufe
- 19 Fehlerermittlungsroutine
- 20 Segmentabweichungen durch Geberradfehler
- 21 Fehlerbehaftetes Geberrad-Winkelsystem
- 22 Zahn
- 23 Folgender Zahn
- 24 Tatsächlicher Winkel
- 25 Winkelversatz  $\Delta\alpha$
- 26 Kurbelwellenwinkel  $\alpha$
- 27 Referenzmodell
- 28 Eingang
- 29 Tabellen mit Zuordnung Wert-Geberradzahn
- 30 -
- 31 Drehzahlverknüpfung (normiert)
- 32 Druckverknüpfung (normiert)
- 33 Einspritzmenge (normiert)
- 34 Additionsstufe
- 35 Trägheitswert Motorträgheitsberücksichtigung
- 36 Ausgangssignal  $T_{SND}(k)$
- 37 Ordnungsfiler
- 38 Diskrete Fourier-Transformation erste Hauptordnung
- 38.1 Betragswert  $c$
- 38.2 Phasenwert  $\varphi$
- 39 Speicher
- 40 Winkelparameterermittlung



- 41 Verknüpfung  
 42 Additionsstufe  
 43 Diskrete Fourier-Transformation n-te Hauptordnung  
 44 Winkelparameterermittlung

## Patentansprüche

5

1. Verfahren zur Drehzahl und/oder Winkelerfassung an rotierenden Bauteilen einer Verbrennungskraftmaschine mit einem Geberrad (1), an dessen Umfangsfläche (2) k Zähne (11, 12) aufgenommen sind, die von einem oder mehreren Signalgebern (6) abgetastet werden, die Zeitdifferenz  $t_s(k)$  zwei aufeinanderfolgender Zähne (11) ermitteln, **dadurch gekennzeichnet**, daß die gemessenen Segmentzeiten  $t_s(k)$  (9) innerhalb einer Korrekturroutine (19) entweder anhand eines Referenzmodells (27), aus dem der jeweilige Betriebspunkt ( $n, p_1, m_E$ ) definiert wird, oder anhand eines Ordnungsfilters (37) mit mindestens einer der Hauptordnung der Verbrennungskraftmaschine zugeordneten Fourier-Transformationsstufe (38 bzw. 43) um die Fehler des Geberrades (1) korrigiert werden.

10

2. Verfahren gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß aus der ermittelten Segmentzeit (9)  $t_s(k)$  eine mittlere Segmentzeit  $t_{SM}(k)$  (10) errechnet wird, aus der eine normierte Segmentzeit  $T_{SN}(k)$  (15) abgeleitet wird.

15

3. Verfahren gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die von Geberradfehlern bereinigten Drehzahlsignale  $n_1(k)$  unter Berücksichtigung der Drehunförmigkeit gemäß

$$n_1(k) = \frac{\alpha_{SM}}{2\pi} \cdot \frac{1}{t_s(k) \cdot [1 - T_{SNGf}(k)]}$$

20

bestimmt wird.

4. Verfahren gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das von Geberradfehlern bereinigte Drehzahlsignal aus

25

$$n_2(k) = \frac{\alpha_{SM}}{2\pi} \cdot \frac{1}{t_{SM}(k) \cdot T_{SNG}(k) [1 - T_{SNGf}(k)]}$$

bestimmt wird.

30

5. Verfahren gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der wahre Winkel (24) der Verbrennungskraftmaschine  $\alpha$  in das fehlerbehaftete Winkelsystem des Geberrades (1) gemäß der Beziehung:

$$\alpha^*_{Soll} = (\alpha_{Soll} - \Delta\alpha) [1 - T_{SNGf}(k-1)]$$

35

abgebildet wird.

6. Verfahren gemäß einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das die Geberradfehler repräsentierende Signal  $T_{SNG}(k)$  aus der Beziehung

$$T_{SNG}(k) = \frac{t_s(k)}{t_{SM}} + T_{SND}(k)$$

40

ermittelt wird, wo der Verlauf des Signales  $T_{SND}(k)$  in Tabelle 29, abhängig von den Betriebsgrößen  $n, p_1$  und  $m_E$  abgelegt und den Zähnen (11) ein Tabelleneintrag (29) jeweils zugeordnet ist.

45

7. Verfahren gemäß Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß zur Bestimmung von  $T_{SND}(\alpha)$  nur die erste Hauptordnung des Motors berücksichtigt wird.

8. Verfahren gemäß einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß für die Drehunförmigkeit der Verbrennungskraftmaschine aufweisenden Frequenzanteile der Hauptordnungen der Verbrennungskraftmaschine mittels diskreter Fourier-Transformation (38, 43) über eine Kurbelwellenumdrehung der Betrag  $c_j$  (38.1, 43.1) und die Phase (38.2, 43.2) bestimmt wird.

50

9. Verfahren gemäß einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Geberradfehler repräsentierenden Signale  $T_{SNG}(k)$  aus der Differenz der normierten Segmentzeit  $T_{SN}(k)$  und den aus der vorhergehenden Kurbelwellenumdrehung  $X-1$  bestimmten Signalanteilen der Hauptordnungen der Verbrennungskraftmaschine gemäß

55

$$T_{SNG}(k) = T_{SN}(k) - \sum_{j=1}^n c_{j, X-1} \cdot \cos(m \cdot j \cdot \alpha - \varphi_{j, X-1})$$

ermittelt wird.

60

---

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

---

65

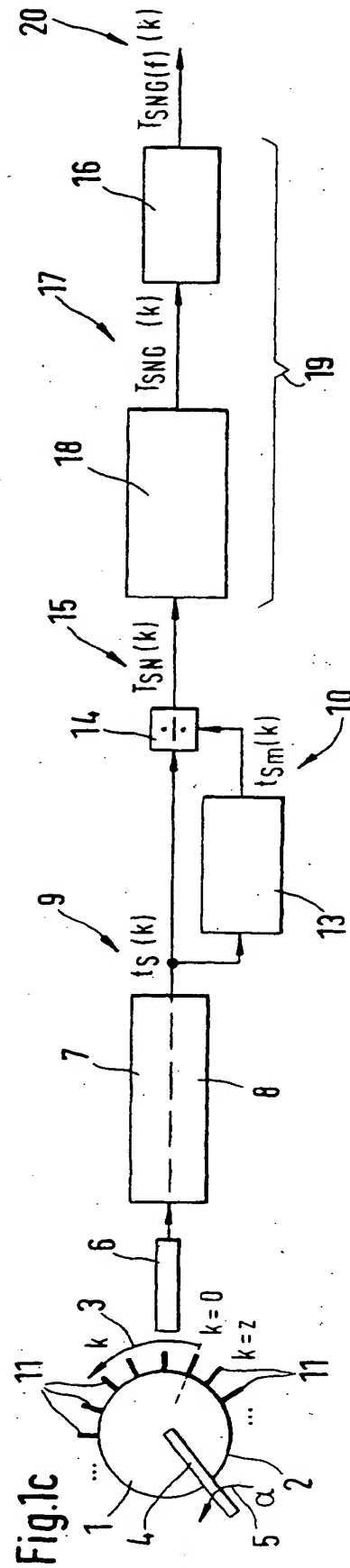
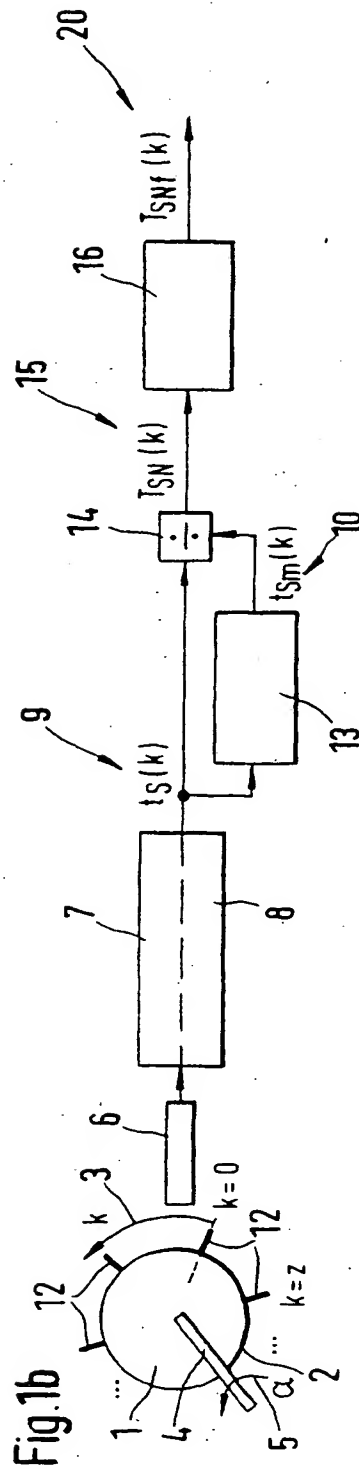
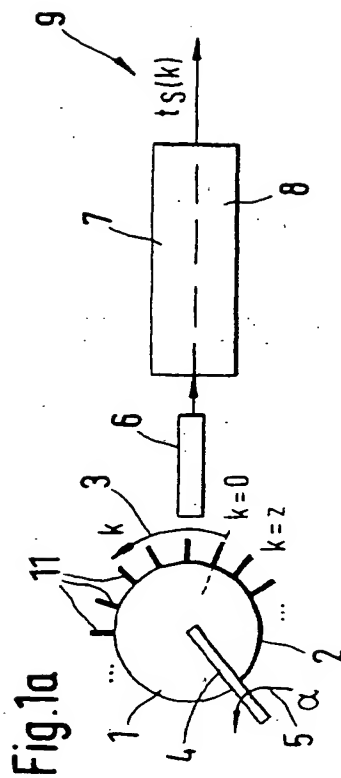






Fig.3

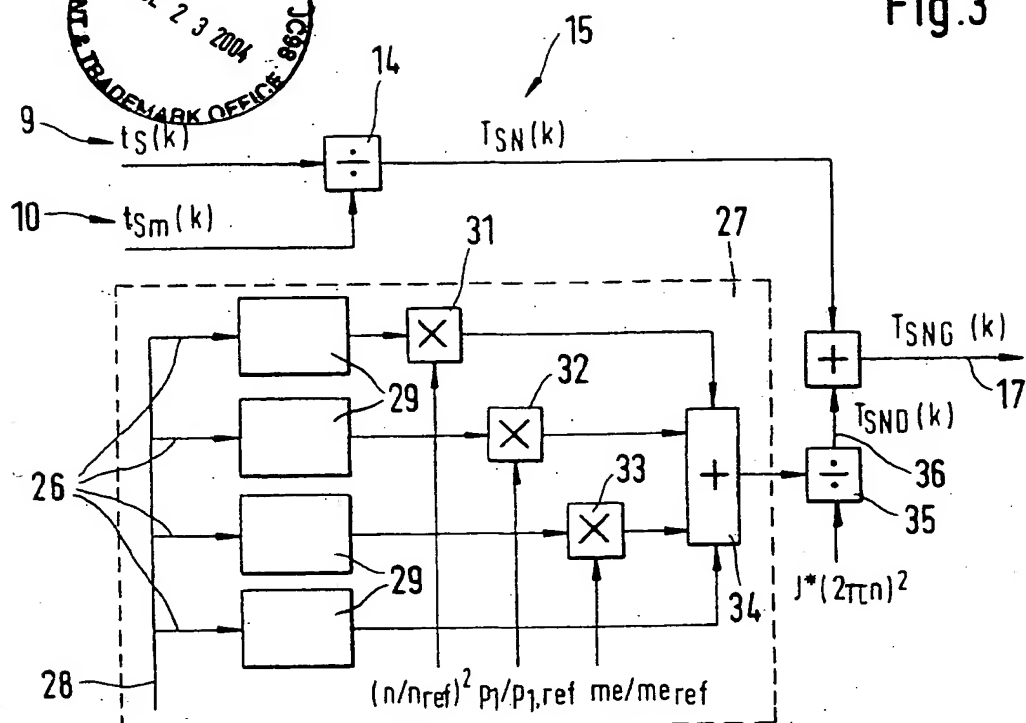
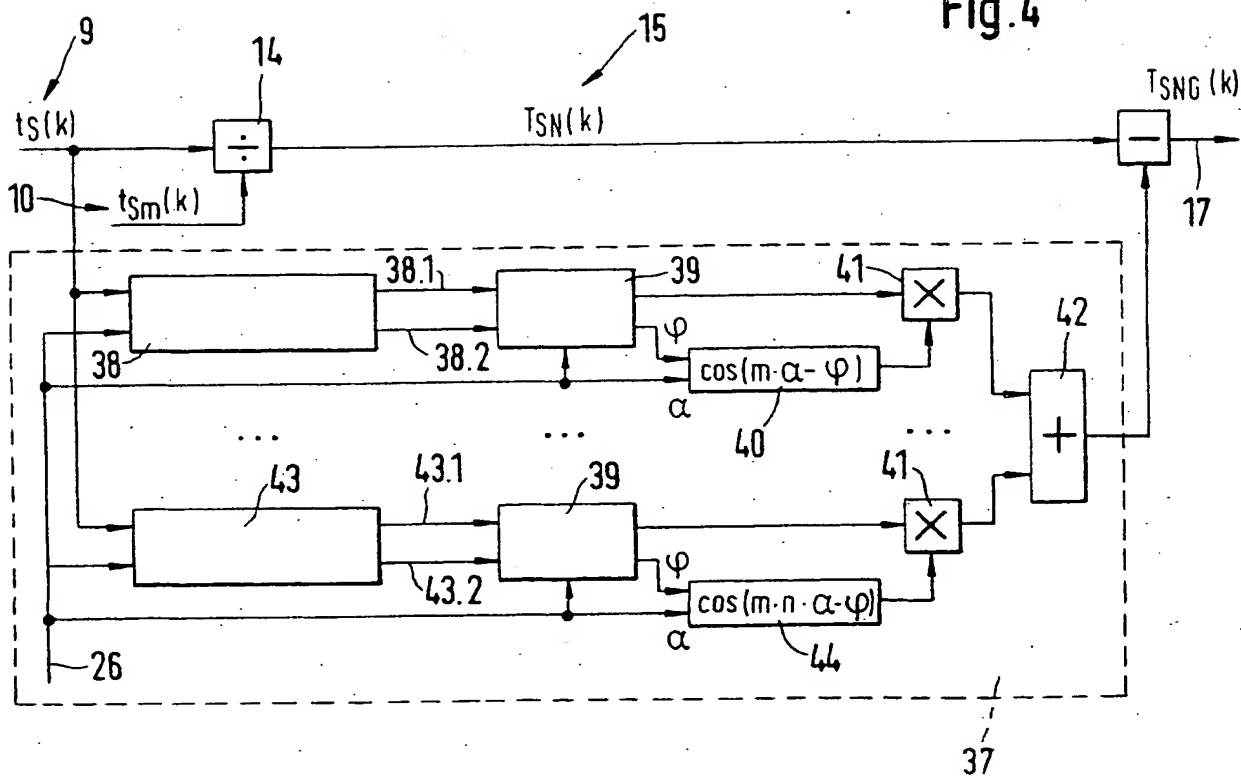


Fig.4



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**